第47卷 第12期
2024年12月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 47 No. 12
Dec. 2024

生态福利绩效时空演化及影响因素研究
——以山西省为例

王紫彦[1]， 牛莉芹[2]， 程占红[1]

（1. 山西财经大学文化旅游与新闻艺术学院，山西 太原 030006；2. 山西财经大学资源环境学院，山西 太原 030006）

摘 要：生态福利绩效统筹人类社会系统和自然环境系统，对于衡量资源型城市可持续发展能力具有重要意义。利用super-SBM模型对山西省2006—2021年生态福利绩效进行测度，利用标准差椭圆和GIS空间可视化分析了生态福利绩效时空演变规律，并通过熵权法和Dagum基尼系数识别生态福利绩效偏低的原因及区域差异来源，最后利用地理探测器探究其驱动因素。结果表明：(1) 山西省各地市生态福利绩效均值为0.681；不同地市之间生态福利绩效水平及提升效果存在差异。(2) 研究期内，生态福利绩效重心坐标呈现由北向南、转而向西南移动的态势；不同类型地区之间维持现状的概率较大。(3) 综合指数解构方面，资源消耗的增长及人类发展指数较低是造成生态福利绩效水平低的主要原因；区域间差异是生态福利绩效地区差异的主要来源。(4) 驱动因素方面，城镇化水平是关键的驱动因素；对外开放程度与其他因子的协同作用是形成生态福利绩效现状的主要驱动因素。研究结果对山西省提升生态福利绩效水平、实现转型跨越式新发展具有重要的现实意义。

关 键 词：生态福利绩效；super-SBM模型；时空演化；地理探测器；山西省

文章编号：1000－6060(2024)12－2152－12(2152～2163)

改革开放以来，中国经济发展实现历史性跃升，新型城镇化建设加速推进，人类福祉水平得以提升[1]。但与此同时，不得不注意到快速的城镇化与粗放的经济发展模式为城市发展带来较高的资源成本，统筹城镇化发展、资源环境与人类福祉的关系仍存在许多卡点，可持续、高效的新型城镇化是今后发展的重点[2]。2006年，“十一五”发展规划纲要中首次指出建设资源节约型、环境友好型社会，促进经济发展与人口、资源、环境相协调；党的十八大将生态文明建设纳入“五位一体”总体布局；二十大报告中指出推动绿色发展，促进发展方式绿色转型。系列政策导向指明中国走的是协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护的高质量发展之路。在此背景下，如何在推进城镇化进程的同时提高资源利用效率、促进人类福祉提升是时代赋予我们的新命题。生态福利绩效则将人类生产、生活系统与自然生态系统相统一，是衡量经济社会高质量发展的重要依据[3]，提高生态福利绩效水平是推动城市实现可持续发展的关键着力点[4]。

生态福利绩效旨在实现以尽可能少的资源消耗、环境污染换取尽可能多的人类社会福利产出，其涉及经济、生态等多门学科，交叉特色鲜明。关于生态福利绩效的起源可追溯至1974年Daly提出的稳态经济理论，但当时并未指明测度指标[5]，直至1992年Ree提出生态足迹理论后，生态福利绩效的实证研究才得以发展[6]。此后“幸福星球指数”“快乐地球指数”[7-8]等方法越来越多。国内学者诸大建[9]在2008年首次提出生态福利绩效概念，当前国内已有研究

收稿日期：2024-03-04； **修订日期：**2024-05-30
基金项目：教育部人文社会科学研究项目(14YJA630005)；山西省哲学社会科学规划项目(2023YY155)资助
作者简介：王紫彦(1996-)，女，博士研究生，主要从事生态环境管理研究. E-mail: wzyyyyyy0906@163.com
通讯作者：牛莉芹(1976-)，女，教授，主要从事生态环境管理研究. E-mail: nlq1976@126.com

主要围绕以下方面展开：(1) 生态福利绩效的测度。生态福利绩效的测度是开展相关研究的前提和关键，当前学术界关于生态福利绩效测度的方法大致可以分为比值法和效率模型法，比如通过构建效率模型应用随机前沿分析法[10]和数据包络分析法[11-12]对生态福利绩效水平进行测度。1990年联合国开发计划署提出"人类发展指数"这一概念，用以衡量经济社会发展水平，被学术界广泛使用，但在具体指标的选取过程中则有所不同。(2) 生态福利绩效的影响因素研究。随着研究的拓展，环境规制[13]、绿色金融[14]、数字经济[15]等更多前沿问题被引入到生态福利绩效的研究中。当前学术界关于生态福利绩效研究范围之广、尺度之深前所未有，相关研究不断丰富。(3) 从地理学视角切入，从国家[16]、区域[3]、流域[4]及特定省份[17]等多层面对生态福利绩效的区域差异、时空分异特征及空间收敛性展开分析。不难看出，现有研究多就区域、省份等大尺度展开，城市层面的研究则相对较少，然而关注中小尺度生态福利绩效水平时空演化特征及影响因素是城镇化建设背景下必不可少。

当前，学术界关于生态福利绩效的相关研究成果颇丰，但仍存在一定的局限性：(1) 当前研究对象多集中于国家、区域和省份等大尺度层面，城市层面研究相对较少，且多围绕特定城市群展开研究[3-4]，关于特定类型、特定区域城市生态福利绩效的研究尚有不足。(2) 现有研究多集中于单要素或某项具体要素对生态福利绩效水平提升的作用及效果，而城市作为一个复杂巨系统[18]，线性、单一要素恐无法解答这一复杂命题，不同因子之间交互作用如何影响城市生态福利绩效水平的研究尚待补充。(3) 在已有针对城市层面生态福利绩效的研究中，以资源型城市为研究对象的相关文献略显不足。我国资源型城市数量多，分布范围广，作为重要的能源资源战略保障基底[19]，关注资源型城市的可持续发展对于推动国民经济持续、健康，高质量发展具有重要意义。山西省作为典型的资源型经济省份，是全国第一个全省域、全方位、系统性的国家资源型经济转型综合配套改革试验区[20]，为实现高质量转型发展蹚出一条新路是党中央赋予山西省的重大任务。在此背景下，对山西省城市生态福利绩效水平及影响因素进行研究就显得十分必要，而这正是本研究所关注的关键科学问题。

综上所述，以山西省为研究案例地，以2006—2021年为研究时段展开研究。首先，应用super-SBM模型测算生态福利绩效水平，借助标准差椭圆及GIS可视化探索其时空演进规律。其次，运用熵权法和基尼系数解构生态福利绩效效率低下的来源及区域差异来源，并运用地理探测器对其驱动因子进行探测，以期为资源型城市生态福利绩效的提升进而实现转型、高质量发展提供参考。

1 数据与方法

1.1 数据来源及处理

以山西省11个地级城市为评价单元，原始数据中有关资源消耗与人类发展的数据主要来源于2007—2022年《山西统计年鉴》以及相关城市统计年鉴及国民经济和社会发展统计公报。环境污染相关指标的数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》。对于个别缺失数据通过计算年均增长率进行补齐。需要说明的是，为减少人口规模对结果的影响，指标均采用人均量表示。此外，为满足数据包络分析中对投入产出单元数的要求，运用熵权法对原始研究数据处理后再投入super-SBM模型对生态福利绩效进行测算。

1.2 指标选取

1.2.1 生态福利绩效评价 生态福利绩效理念的核心在于以尽可能少的资源消耗和环境污染来实现尽可能多的福利资源产出。当前学术界关于生态福利绩效的测算已较为成熟，本研究在借鉴前人研究方法的基础上[18,21]，考虑数据可得性，构建包括资源消耗、环境污染、人类发展在内的指标体系，其中产出指标包括非期望产出(环境污染)和期望产出(人类发展)，具体指标见表1。

表1 生态福利绩效评价指标体系

Tab. 1 Ecological welfare performance evaluation indicator system

一级指标	二级指标	三级指标	具体指标
投入指标	资源消耗	土地资源消耗	人均城市建设面积
		能源资源消耗	人均用电量
		水资源消耗	人均用水量
产出指标	环境污染	废水排放量	人均工业废水排放量
		废气排放量	人均工业SO_2排放量
		固体废弃物排放量	人均工业烟粉尘排放量
	人类发展	经济发展水平	人均GDP
		教育发展水平	人均高等学校在校生数
		健康发展水平	人均城市医院病床数

1.2.2 影响因素指标 生态福利绩效水平受到多种因素的影响[17]，就以往研究来看，对外开放水平[3]、产业结构[2]、科学技术发展水平[15]等因素对生态福利绩效的影响关注度较高。从山西省区域特点来看，作为国家资源型经济转型综合配套改革实验区，推动经济社会高质量发展是实现现代化建设的必然选择；推进以县城为载体的新型城镇化建设是山西省加快转型发展的重要支撑点；作为内陆地区，积极融入共建"一带一路"，扩大高水平对外开放是加快山西省转型发展的重要抓手；人口空间分布对于实现人口、资源、环境的协调发展具有重要意义[22]，山西省各地市人口分布存在显著差别且不均衡性不断加强，优化人口空间格局是山西省资源型经济转型的重要内容[23]。此外，山西省生态基底差、历史旧账多，在黄河流域生态保护和高质量发展战略驱动下，山西省高质量推进国土绿化，着力构建黄河流域生态安全屏障。以上特性均会对生态福利绩效产生影响。因此，在参考前人研究基础、区域特性、数据可得性与完整性及结果有效性的基础上，本研究最终选取如下影响因素变量：经济规模(ES)、城镇化水平(UL)、对外开放程度(DO)、人口密度(PD)和绿化水平(GL)，研究5大因素单因子及其交互作用下对生态福利绩效空间分布的影响。分别通过地区生产总值、城镇化率、实际利用外资额、常住人口数/行政区域面积及人均城市绿地面积予以表征。

1.3 研究方法

1.3.1 super-SBM模型 super-SBM模型是传统SBM模型的进阶版，可在多个有效决策单元的结果中，进一步对决策单元进行评价，并且消除了非期望产出对效率的"松弛影响"[24-25]，本研究运用super-SBM模型对生态福利绩效进行测度，计算公式如下：

$$\min p_{e*}=\frac{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{\tilde{x}}{x_{rp}}}{\frac{1}{o_1+o_2}\left(\sum_{s=1}^{o_1}\frac{\tilde{y}}{y_{sp}}+\sum_{t=1}^{o_2}\frac{\tilde{z}}{z_{tp}}\right)}$$

$$\text{s.t}\begin{cases}\tilde{x}\geqslant\sum\limits_{q=1,\neq p}^{n}\beta_q\cdot x_{rq},\ \ r=1,2,\cdots,m\\ \tilde{y}\leqslant\sum\limits_{q=1,\neq p}^{n}\beta_q\cdot y_{sq},\ \ s=1,2,\cdots,o_1\\ \tilde{z}\geqslant\sum\limits_{q=1,\neq p}^{n}\beta_q\cdot z_{tq},\ \ t=1,2,\cdots,o_2\end{cases}\tag{1}$$

$$\tilde{x}\geqslant x_p,\ \ \tilde{y}\leqslant y_p,\ \ \tilde{z}\geqslant z_p,\ \ \beta_q\geqslant 0,\ \ q=1,2,\cdots,n$$

式中：p_{e*}为生态福利绩效的效率值；m、o_1、o_2分别为投入、期望产出和非期望产出指标的个数；n为决策单元数量；x_{rp}、y_{sp}、z_{tp}分别为第p个决策单元的第r项投入、第s项期望产出和第t项非期望产出；$\tilde{x}$、$\tilde{y}$、$\tilde{z}$分别为投入、产出、非期望产出的松弛量；β_q为第q个决策单元的权重系数；x_{rq}、y_{sq}、z_{tq}分别为被评估单元的投入、期望产出和非期望产出；r、s、t分别为投入、期望产出和非期望产出；x_p、y_p、z_p分别为第p个决策单元的最优投入、期望产出和非期望产出。

1.3.2 标准差椭圆 标准差椭圆通过对长短轴及重心的测算反映空间特征及演变趋势，本研究在测算生态福利绩效值的基础上，进一步计算其重心、轴长及旋转角。具体计算方法见文献[26]，本研究运用ArcGIS 10.8绘制。

1.3.3 马尔科夫链模型 马尔科夫链模型通过构建马尔科夫矩阵，可反映不同类型地区之间转移的方向及概率。本研究通过构建马尔科夫矩阵，刻画生态福利绩效在不同类型之间的转移方向及概率。假设由状态E_i转为E_j的状态转移概率为$P_{(E_i-E_j)}=P_{(E_i/E_j)}$，由此得到齐次马尔科夫链的一步转移矩阵。现假设时间有$E_1, E_2, \cdots, E_n$，n种可能的状态，则可进一步得到状态转移概率矩阵P：

$$P=\begin{Bmatrix}P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n}\\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n}\\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots\\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn}\end{Bmatrix}\tag{2}$$

式中：$P_{(E_i-E_j)}$为处于当前状态i的条件下，转换为状态j的概率；E_j、E_i分别为现在和未来的状态。

1.3.4 熵权法 信息熵借鉴了热力学中熵的概念，对于指标而言，信息熵越小，离散程度则越大，则该指标对综合指数影响则越大，主要用于确定评价类指标所占权重。本研究采用Stata软件利用熵权法获得三级指标权重后进一步计算资源消耗、环境污染和人类发展综合指数。

1.3.5 Dagum基尼系数 推进区域协调发展是实现中国式现代化的内在要求，运用Dagum基尼系数对生态福利绩效区域内部及区域之间的差异进行测度，识别差异来源，具体计算方法见文献[27]，本研究运用Stata软件对生态福利绩效的Dagum基尼系数进行测算。

1.3.6 地理探测器 地理探测器可用于探测某一解释变量是否影响被解释变量值的空间分异[28]。本研究借助R软件探析生态福利绩效的驱动因子，并进一步识别不同影响因素之间的交互作用。

2 结果与分析

2.1 时间演化特征

运用super-SBM模型计算得出2006—2021年山西省11个地市生态福利绩效值(表2)。整体来看，研究期内生态福利绩效均值为0.681,先由0.608提升至2011年的0.743,后降低至2015年的0.652,呈现出波动状态,整体呈上升态势,增长率19.74%。从地市层面看,大同市、晋中市、吕梁市、运城市、临汾市、长治市、晋城市生态福利绩效值整体呈上升态势,其他地市则表现为不同程度的降低态势。从地区层面看,晋东南地区生态福利绩效均值水平最高(0.909),晋北地区次之(0.744),晋南地区生态福利绩效均值水平最低(0.297)且远低于平均水平,但整体均有所提升。

2.2 空间演化特征

2.2.1 空间格局分析 为探究生态福利绩效空间分布特征,根据生态福利绩效值大小及数据间差异最大化原则,进一步将其划分为5大类型区:低水平区[0.000, 0.200]、较低水平区(0.200, 0.400]、中等水平区(0.400, 0.600]、较高水平区(0.600, 0.800]和高水平区(0.800, 1.818],并运用ArcGIS 10.8绘制研究期两端年份的空间演变图(图1)。2021年所有地市均摆脱低水平区,其中晋东南地区生态福利绩效提升尤为明显,2021年全部进入高水平区,而晋南地区区域内发展不平衡性加剧,出现生态福利绩效低洼区。

为进一步分析山西省生态福利绩效时空演化格局及特征,绘制生态福利绩效的标准差椭圆—重心模型(图2)。就生态福利绩效值的重心分布演变轨迹来看,2006—2021年生态福利绩效的重心坐标在112.435°~112.602°E、37.541°~38.231°N之间,重心坐标由忻州—太原交界处迁移至太原市,2014年向东移动至晋中境内,2014年后又向西南折回,整体向西南方向移动了89.87 km,这表明西部和南部生态福利绩效提升比北部和东部更明显。进一步分析可知,研究期内生态福利绩效空间演变总体上呈向南的发展态势,标准差椭圆的面积在波动中增大,表明生态福利绩效整体呈上升的态势。从扁率来看,2021年椭圆扁率略低于2006年,表明方向明确性和向心力有所减弱。

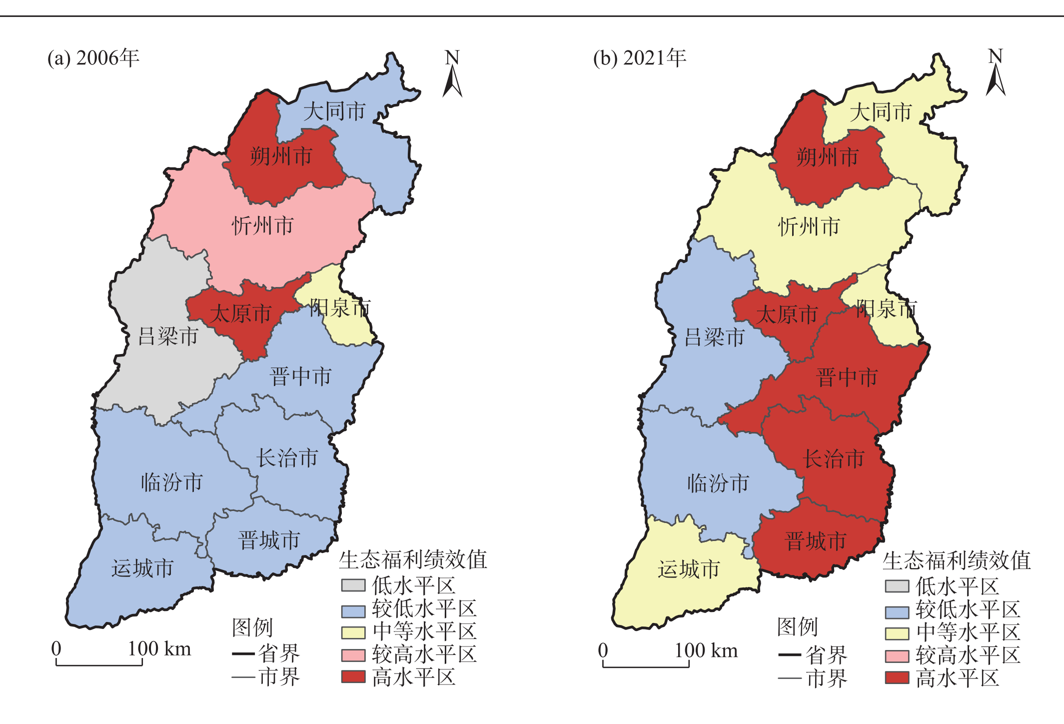
2.2.2 空间相关性分析 按照生态福利绩效统计量的大小并结合四分位数法将效率值划分为低(Ⅰ)、较低(Ⅱ)、较高(Ⅲ)和高(Ⅳ)4种类型,采用Markov链方法构建传统Markov转移概率矩阵和考虑空间滞后下的Markov转移概率矩阵(表3),进一步揭示山西省生态福利绩效状态的转移方向和概率。

表2 2006—2021年山西省11个地市生态福利绩效值

Tab. 2 Ecological welfare performance values of 11 prefectures and cities in Shanxi Province from 2006 to 2021

地区		2006年	2008年	2010年	2012年	2014年	2016年	2018年	2020年	2021年	均值
晋北	大同市	0.362	0.408	0.458	0.578	0.395	0.313	0.301	0.545	0.473	0.431
	朔州市	1.818	1.673	1.208	1.086	1.152	1.077	0.665	1.055	1.064	1.191
	忻州市	0.632	0.244	0.530	0.710	0.496	0.561	1.074	1.000	0.578	0.611
	平均值	0.937	0.775	0.732	0.791	0.681	0.650	0.680	0.867	0.705	0.744
晋中	太原市	1.700	1.658	1.616	1.602	1.461	1.441	1.544	1.487	1.388	1.556
	阳泉市	0.582	0.471	0.837	0.699	0.577	0.417	0.293	0.358	0.445	0.507
	晋中市	0.334	0.367	0.481	0.468	0.556	0.752	0.817	0.756	0.804	0.572
	吕梁市	0.134	0.150	0.279	0.186	0.212	0.178	0.177	0.320	0.376	0.207
	平均值	0.687	0.661	0.803	0.739	0.701	0.697	0.708	0.730	0.753	0.711
晋南	运城市	0.246	0.185	0.452	0.238	0.291	0.239	0.295	0.408	0.429	0.293
	临汾市	0.230	0.245	0.277	0.404	0.303	0.266	0.324	0.369	0.350	0.302
	平均值	0.238	0.215	0.364	0.321	0.297	0.253	0.310	0.389	0.389	0.297
晋东南	长治市	0.356	0.339	0.583	1.154	1.007	0.554	0.862	1.051	1.053	0.767
	晋城市	0.293	1.023	1.098	0.759	1.069	1.734	1.038	1.041	1.047	1.051
	平均值	0.324	0.681	0.840	0.956	1.038	1.144	0.950	1.046	1.050	0.909
均值		0.608	0.615	0.711	0.717	0.684	0.685	0.672	0.763	0.728	0.681

注:受篇幅所限,本表仅展示间隔年份的生态福利绩效值。



注:基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作,底图边界无修改。下同。

图1 2006年和2021年山西省生态福利绩效空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of ecological welfare performance in Shanxi Province in 2006 and 2021

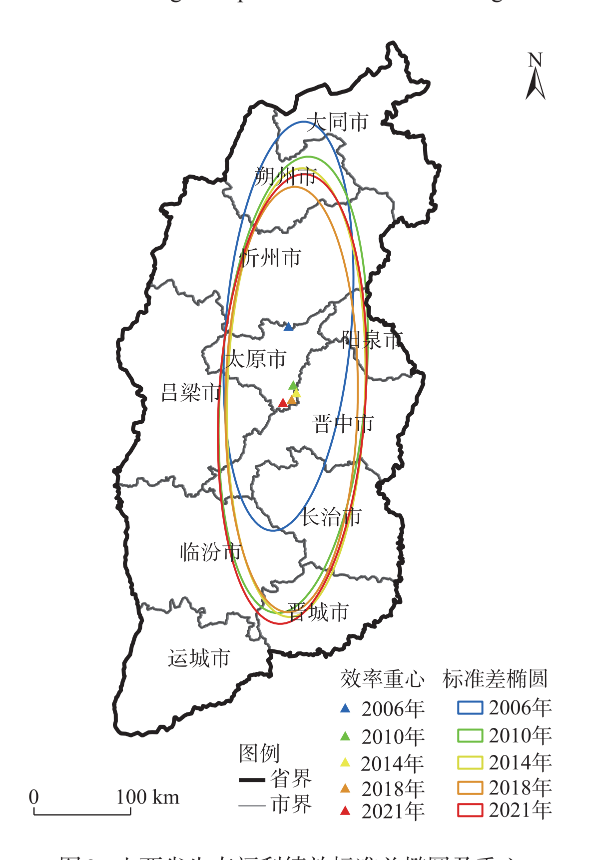


图2 山西省生态福利绩效标准差椭圆及重心

Fig. 2 Standard deviation ellipse and center of gravity of ecological welfare performance in Shanxi Province

由传统Markov转移概率矩阵可知,在不考虑空间滞后类型的条件下所有类型均在对角线处达到最大值,四类地区维持现状水平的概率分别为77.27%、61.54%、64.29%和85.00%,表明不同类型区流动性较弱,维持原有状态的概率较大,效率提升能力较低;不同类型区之间存在向上转移的可能,Ⅰ类地区向Ⅱ、Ⅲ类转移的概率分别为20.45%和2.27%。不同类型区逐级提升的概率高于越级提升的概率,这说明生态福利绩效的提升是一个循序渐进的过程,跨级跃升的可能性较低。较高等级的类型区仍存在一定向下转移的可能性,因此在保持现有状态类型积极争取提升的同时应警惕"低水平陷阱"。

由空间Markov转移概率矩阵可知,邻域背景对城市生态福利绩效的提升具有重要作用。与传统Markov转移概率矩阵相比,不同邻域类型下生态福利绩效转移概率均有所不同,这表明生态福利绩效水平的演变具有一定的空间依赖性。生态福利绩效水平类型与邻域生态福利绩效水平类型有一定的协同性,在邻域类型Ⅰ、Ⅲ类地区时,处于该类型的城市数量大于其他类型的数量。例如,在生态福利绩效水平高的邻域条件下,Ⅰ类地区向Ⅱ类转移的概率更大。此外,在考虑空间滞后条件下,生态福利绩效类型转移存在一定的"俱乐部收敛"现象,即生态福利绩效水平较低的城市,发展速度会更快。

表3 山西省生态福利绩效的Markov转移概率矩阵

Tab. 3 Markov transfer probability matrix for ecological welfare performance in Shanxi Province

空间滞后	效率类型	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	观测值
无	Ⅰ	0.7727	0.2045	0.0227	0.0000	44
	Ⅱ	0.1282	0.6154	0.2308	0.0256	39
	Ⅲ	0.0238	0.1667	0.6429	0.1667	42
	Ⅳ	0.0000	0.0250	0.1250	0.8500	40
Ⅰ	Ⅰ	0.6667	0.0000	0.3333	0.0000	3
	Ⅱ	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
	Ⅲ	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1
	Ⅳ	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	2
Ⅱ	Ⅰ	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4
	Ⅱ	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
	Ⅲ	0.0000	0.2500	0.2500	0.5000	4
	Ⅳ	0.0000	0.0000	0.1250	0.8750	24
Ⅲ	Ⅰ	0.7778	0.2222	0.0000	0.0000	36
	Ⅱ	0.1471	0.6176	0.2059	0.0294	34
	Ⅲ	0.0270	0.1622	0.7027	0.1081	37
	Ⅳ	0.0000	0.0714	0.1429	0.7857	14
Ⅳ	Ⅰ	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1
	Ⅱ	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	3
	Ⅲ	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0
	Ⅳ	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0

2.3 综合指数解构

为明确不同类型地区生态福利绩效提升路径，本研究通过熵权法计算获得各地市资源消耗综合指数、环境污染综合指数及人类发展综合指数（图3）。资源消耗综合指数在研究期内各地市均有所降低，这表明经济社会的发展仍是以资源的消耗为代价，其中晋城市降幅最大（55.38%）。环境污染综合指数在研究期内表现为不同程度提升，其中朔州市环境污染综合指数提升幅度最大，太原市最小。人类发展综合指数低于资源消耗综合指数和环境污染综合指数，除吕梁市外其他地市人类发展综合指数均在波动中提升。具体来看，忻州市人类发展综合指数均值水平最高（0.078），晋城市最低（0.047）；从增长幅度来看，朔州市人类发展综合指数增幅最大（260.87%），长治市最小（11.48%）。

2.4 生态福利绩效的区域差异及来源

为明确山西省生态福利绩效的空间差异及其成因，运用Dagum基尼系数对生态福利绩效的总体差异进行计算（表4）。研究期内，山西省生态福利绩效总体差异在波动中降低，降幅为40.96%。

从区域内差异来看，2006—2021年晋中区域生态福利绩效的内部差异最大（0.380），晋北区域次之（0.236），晋南区域最低（0.098）。从时间演变趋势来看，除晋南区域外其他区域均表现为下降趋势，其中晋东南区域降幅最大（97.92%），晋北区域次之（46.09%）。

从区域间差异来看，晋南-晋东南区域生态福利绩效差异最大（0.491），晋南-晋中区域差异次之（0.462），晋东南-晋北区域差异最小（0.270）。从时间演变趋势来看，除晋南-晋东南区域外，其他区域之间生态福利绩效的差异均在波动中降低。究其原因可能在于晋城市和长治市加快推进产业转型，全域旅游和康养产业蓬勃发展，有力促进了生态福利绩效水平的提升；临汾市作为典型的资源型城市，面临着资源短缺、环境污染等多重压力，转型发展任务艰巨，而运城市由于距离省会城市太原市较远，难以受到辐射带动，受制于行政壁垒，统一开放的市场体系有待进一步开发建设。

从贡献率来看，研究期内山西省生态福利绩效的总体差异主要来自区域间差异（47.24%），超变密度次之（30.51%），区域内差异最低（22.25%）。可以

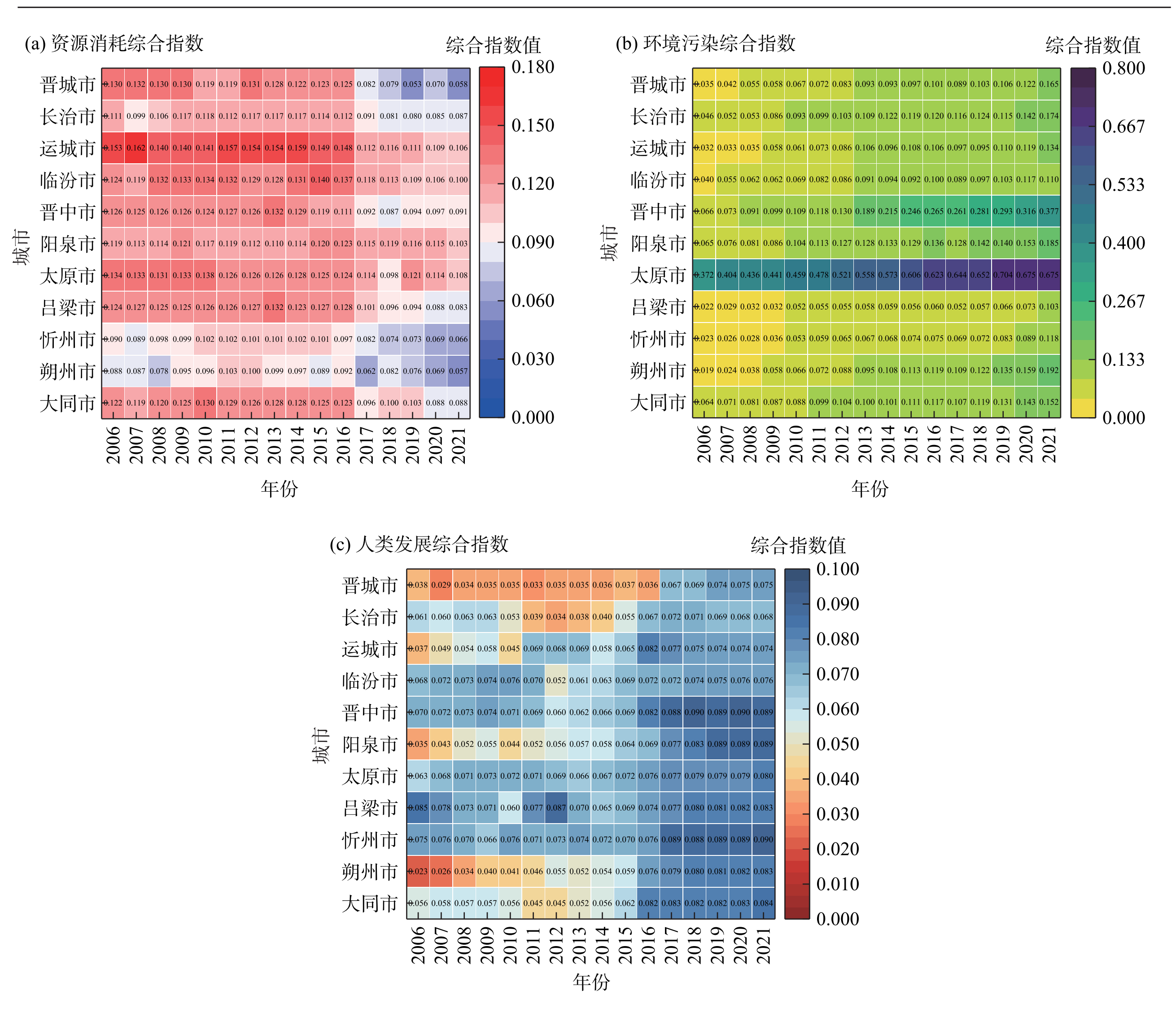


图3 2006—2021年综合指数

Fig. 3 Composite indices from 2006 to 2021

看出，生态福利绩效发展不平衡主要由区域间发展不平衡造成。

2.5 生态福利绩效驱动因素分析

本研究应用地理探测器探究各因素对生态福利绩效的驱动作用。由图4可知，单因子层面，研究期内前3位的驱动因素分别为：绿化水平、对外开放程度和城镇化水平（2006年）；人口密度、城镇化水平和对外开放程度（2011年）；城镇化水平、绿化水平和对外开放程度（2016年）；绿化水平、对外开放程度和城镇化水平（2021年）。可以看出，城镇化水平和对外开放程度在4个研究截面均处于重要位置，对外开放水平的影响力数值也由2006年的0.473提高至2021年的0.623，绿化水平对于山西省生态福利建设的影响力在波动中有所降低，但从影响力数值来看对于生态福利绩效的影响仍处于高位。

从因子的交互作用结果来看，在所有的交互项中有65%产生双因子增强或非线性增强效应，即不同影响因子在交互作用后对生态福利绩效的作用效果大于各因素单独作用的效果或大于各自单独作用的解释力之和，即山西省生态福利绩效水平并非5个驱动因素单独、直接作用的结果，而是5个驱动因素之间两两交互形成的增强效应的结果。具体来看，2006—2021年协同作用最为明显的依次为对外开放程度和绿化水平（0.994）、城镇化水平和绿化水平（0.988）、对外开放程度和经济规模（0.978）、经济规模和绿化水平（0.967），其中对外开放程度的协同作用最为明显，与其他驱动因子交互作用于生态福利绩效时有68.75%产生双因子增强

表4　生态福利绩效的基尼系数分解

Tab. 4　Gini coefficient decomposition of ecological welfare performance

年份	总体基尼系数	区域内差异				区域间差异		
		晋北	晋中	晋南	晋东南	晋中-晋北	晋南-晋北	晋南-晋中
2006	0.437	0.345	0.450	0.017	0.048	0.423	0.595	0.541
2007	0.392	0.305	0.439	0.139	0.059	0.398	0.566	0.531
2008	0.440	0.410	0.437	0.070	0.251	0.436	0.565	0.546
2009	0.366	0.251	0.416	0.046	0.195	0.367	0.477	0.490
2010	0.307	0.228	0.340	0.120	0.153	0.319	0.336	0.413
2011	0.323	0.106	0.390	0.063	0.018	0.340	0.561	0.498
2012	0.311	0.143	0.379	0.130	0.103	0.312	0.423	0.458
2013	0.324	0.208	0.363	0.046	0.005	0.319	0.436	0.484
2014	0.321	0.247	0.336	0.010	0.015	0.326	0.392	0.447
2015	0.356	0.282	0.366	0.038	0.186	0.354	0.427	0.476
2016	0.387	0.261	0.370	0.027	0.258	0.350	0.440	0.507
2017	0.368	0.317	0.402	0.037	0.145	0.391	0.398	0.463
2018	0.340	0.253	0.408	0.024	0.046	0.371	0.382	0.464
2019	0.338	0.101	0.375	0.026	0.086	0.356	0.131	0.392
2020	0.269	0.131	0.334	0.025	0.002	0.302	0.381	0.350
2021	0.258	0.186	0.282	0.051	0.001	0.265	0.288	0.330

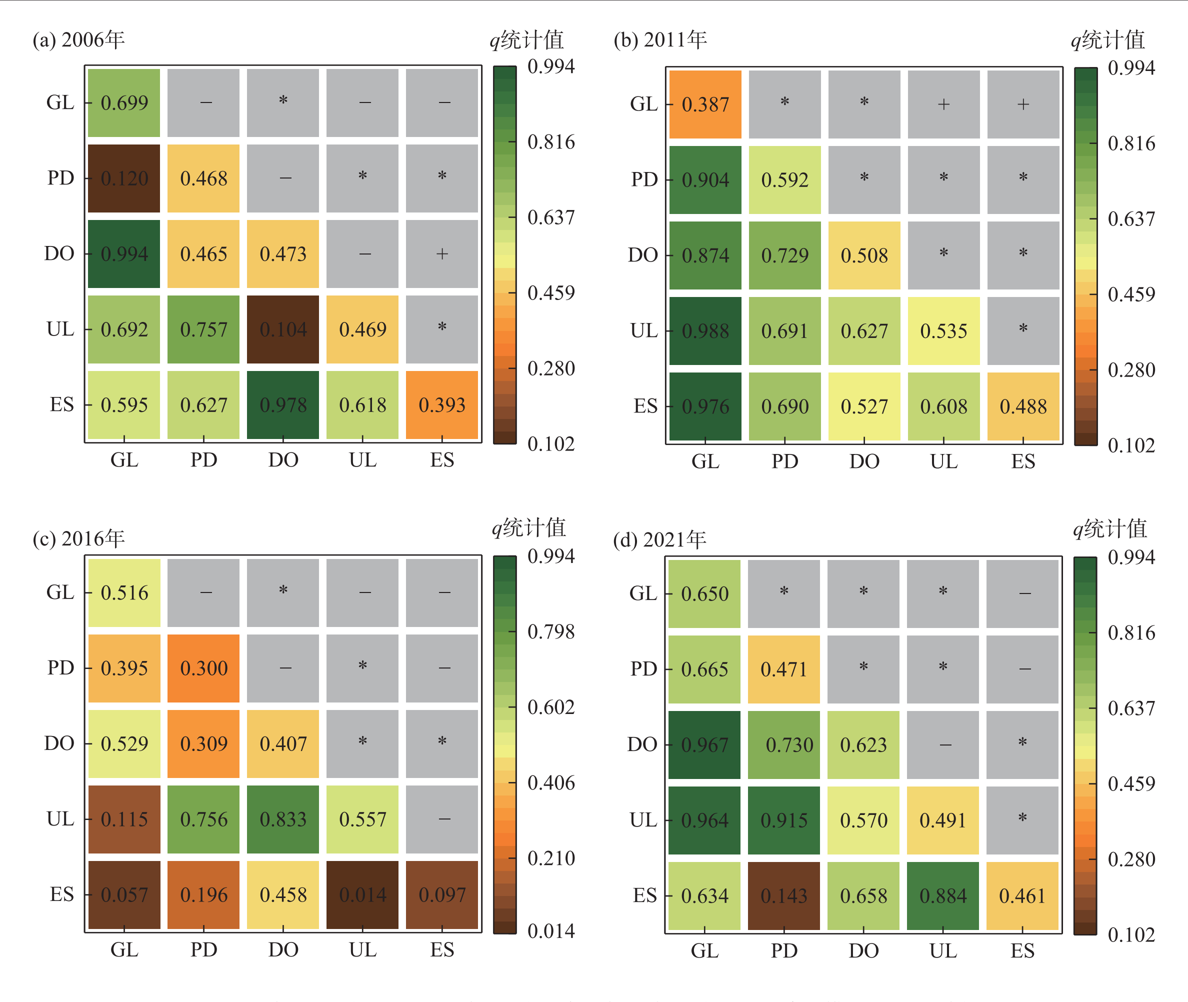
年份	区域间差异			贡献率/%		
	晋东南-晋北	晋中-晋东南	晋南-晋东南	区域内差异	区域间差异	超变密度
2006	0.486	0.458	0.153	24.705	55.150	20.145
2007	0.286	0.361	0.431	24.702	43.444	31.853
2008	0.406	0.408	0.519	25.151	33.196	41.653
2009	0.253	0.368	0.481	24.199	34.935	40.865
2010	0.225	0.297	0.395	24.816	35.661	39.524
2011	0.090	0.354	0.615	18.678	58.346	22.975
2012	0.157	0.319	0.497	22.425	44.686	32.888
2013	0.207	0.325	0.573	20.339	50.618	29.043
2014	0.252	0.315	0.555	20.148	51.087	28.765
2015	0.303	0.324	0.559	22.793	44.108	33.099
2016	0.374	0.390	0.638	21.380	51.743	26.877
2017	0.315	0.345	0.467	24.428	33.239	42.332
2018	0.216	0.325	0.508	23.097	42.969	33.934
2019	0.450	0.347	0.548	18.593	67.294	14.113
2020	0.097	0.302	0.458	20.045	54.365	25.590
2021	0.202	0.258	0.459	20.540	54.926	24.534

效应，表明对于山西省而言，对外开放水平越高，与其他驱动因素交互作用下生态福利绩效水平将越高。

3　讨 论

（1）关于山西省生态福利绩效水平的测度。已有研究多从国家、省域等宏观尺度入手对生态福利绩效及其影响因素展开研究，城市作为经济社会活动的重要载体，关注城市生态福利绩效水平的提升同样重要。研究发现山西省整体生态福利绩效水平偏低，尚未达到有效状态，这与已有研究关于省域层面的研究结果相同[10]。本研究的边际贡献在于关注资源型城市生态福利绩效水平，选取山西省作为典型案例地展开研究，丰富了城市生态福利绩效水平的研究内容。关注不同类型城市生态福利绩效水平及其差异，为生态福利绩效水平提供新的研究思路。

（2）关于生态福利绩效的影响因素。当前研究中，多关注外部影响因素及不同影响因素对生态福



注:GL、PD、DO、UL、ES分别为绿化水平、人口密度、对外开放程度、城镇化水平和经济规模;*、+、–分别表示双因子增强效应、非线性增强效应和无以上2种效应。

图4 生态福利绩效驱动因子探测图

Fig. 4 Detection map of ecological welfare performance drivers

利绩效的线性影响[18],而就生态福利绩效内部、因子的交互作用对生态福利绩效的影响考虑较少。本研究通过对生态福利绩效综合指数的解构,发现制约其提升的内在障碍。而且,在测度单因子驱动作用的基础上,进一步分析因子的交互作用对生态福利绩效作用程度大小。通过研究发现,绿化水平、城镇化水平和对外开放程度对山西省生态福利绩效水平均有重要作用,与已有研究相互印证[29]。此外,不同因子在两两交互下会产生双因子增强或非线性增强效应,这不仅为已有研究提供了新思路,也为生态福利绩效水平提升提供了新的切入点。

当前研究仍存在一定的提升空间。(1) 研究尺度问题。关注资源型城市生态福利绩效无论是对于城市可持续发展还是国家层面高质量发展目标的实现均具有重要意义。本研究仅选取山西省作为典型案例地展开研究,尚未从不同类型的资源型城市入手展开进一步研究。不同类型资源型城市生态福利绩效水平的差异化及其提升,将是下一步研究重点考虑的内容。(2) 指标体系问题。当前关于生态福利绩效测度虽尚未形成统一的指标体系,本研究在构建评价指标体系过程中由于市域层面人均预期寿命、不同阶段在校生人数等数据缺失的制约,在福利产出层面未能采用"人类发展指数"学术界较为广泛应用的指标。如何以更加科学的方式对市域尺度下人类福利进行测度,是生态福利绩效相关研究进一步需要解决的问题。

4 结 论

在构建生态福利绩效水平评价指标体系的基础上,本研究采用super-SBM模型、马尔科夫链、地理探测器等方法探究了2006—2021年山西省生态福利绩效水平、演进趋势及其影响因素。主要研究

结论如下：

（1）山西省生态福利绩效水平均值在0.608~0.763之间波动，整体上未实现有效。从空间上看，生态福利绩效分布具有明显的区域差异，总体呈现晋东南地区>晋北地区>晋中地区>晋南地区的分布格局。标准差椭圆—重心模型结果显示，山西省生态福利绩效水平在波动中上升，整体向心力有所减弱。空间相关性结果显示，在不考虑空间滞后类型的条件下，生态福利绩效维持现有水平的概率较大，存在不同程度的向上、向下转移的可能；邻域城市生态福利绩效水平对生态福利绩效的转移具有重要影响。

（2）从综合指数解构的结果来看，各个城市的环境污染综合指数均有所提升，人类发展综合指数除吕梁市外其他城市均在波动中提升，而资源消耗综合指数则均表现为不同程度的降低，制约着山西省生态福利绩效水平的提升。区域差异及来源结果表明，山西省生态福利绩效的总体差异在波动中降低。区域间差异是造成生态福利绩效差异的主要来源。

（3）从地理探测器结果来看，生态福利绩效水平受城镇化水平、对外开放程度等多个因素的综合影响，不同影响因子的驱动作用及因子交互作用有所不同。单因子层面，山西省生态福利绩效水平受绿化水平的影响最大，城镇化水平次之，对外开放程度的重要性在波动中提升；从因子交互作用的结果来看，双因子增强、非线性增强效应明显，其中对外开放程度与其他因子产生交互作用最为明显。

参考文献（References）

[1] 王圣云，罗玉婷，韩亚杰，等. 中国人类福祉地区差距演变及其影响因素：基于人类发展指数(HDI)的分析[J]. 地理科学进展，2018, 37(8): 1150-1158. [Wang Shengyun, Luo Yuting, Han Yajie, et al. Regional difference and determinants of human well-being in China: Based on the analysis of human development index [J]. Progress in Geography, 2018, 37(8): 1150-1158.]

[2] 徐成龙，庄贵阳. 新型城镇化下城镇可持续发展的内涵解析与差异化特征探讨[J]. 生态经济，2021, 37(1): 77-82. [Xu Chenglong, Zhuang Guiyang. Exploration on the connotation and differentiation of urban sustainable development under new-type urbanization[J]. Ecological Economy, 2021, 37(1): 77-82.]

[3] 赵林，曹乃刚，高晓彤，等. 环渤海地区生态福利绩效水平时空特征及其影响因素[J]. 经济地理，2024, 44(3): 178-188. [Zhao Lin, Cao Naigang, Gao Xiaotong, et al. Spatial-temporal pattern of ecological well-being performance level and its influencing factors in Bohai Sea Rim Region[J]. Economic Geography, 2024, 44(3): 178-188.]

[4] 董洁芳，张凯莉，屈学书，等. 黄河流域城市生态福利绩效测算及驱动因素研究[J]. 干旱区地理，2023, 46(5): 834-845. [Dong Jiefang, Zhang Kaili, Qu Xueshu, et al. Measurement and influencing factors of ecological well-being performance of cities in Yellow River Basin[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(5): 834-845.]

[5] Daly H E. The world dynamics of economic growth: The economics of the steady state[J]. The American Economic Review, 1974, 64 (2): 15-21.

[6] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment & Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.

[7] Mark N, Simms A, Thompson S, et al. The unhappy planet index: An index of human well-being and environmental impact[M]. London: New Economics Foundation, 2006, 68.

[8] Abdallah S, Thompson S, Michaelson J, et al. The happy planet index 2.0: Why good lives don't have to cost the earth[M]. London: New Economics Foundation, 2009, 33.

[9] 诸大建. 生态经济学：可持续发展的经济学和管理学[J]. 中国科学院院刊，2008, 23(6): 520-530. [Zhu Dajian. Ecological economics: Economics and management of sustainable development [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2008, 23(6): 520-530.]

[10] 王圣云，段练成. 中国生态福利绩效时空格局演变及其驱动效应分析[J]. 地理科学进展，2023, 42(4): 617-628. [Wang Shengyun, Duan Liancheng. Evolution of spatio-temporal patterns of ecological well-being performance in China and its driving effects[J]. Progress in Geography, 2023, 42(4): 617-628.]

[11] Dietz T, Rosa E A, York R. Environmentally efficient well-being: Is there a Kuznets curve?[J]. Applied Geography, 2010, 10(11): 21-28.

[12] 龙亮军，王霞. 上海市生态福利绩效评价研究[J]. 中国人口·资源与环境，2017, 27(2): 84-92. [Long Liangjun, Wang Xia. A study on Shanghai's ecological well-being performance[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(2): 84-92.]

[13] 魏鹏，李莉，李润，等. 地方政府竞争、环境规制与生态福利绩效[J]. 统计与决策，2022, 38(22): 164-169. [Wei Peng, Li Li, Li Run, et al. Local government competition, environmental regulation, and ecological welfare performance[J]. Statistics and Decision, 2022, 38(22): 164-169.]

[14] 谭中明，康勤，董蕴仪. 绿色金融支持下的生态福利绩效影响及其空间效应研究[J]. 金融理论与实践，2023(5): 80-92. [Tan Zhongming, Kang Qin, Dong Yunyi. Research on the impact of ecological welfare performance and its spatial effect supported by green finance[J]. Financial Theory and Practice, 2023(5): 80-92.]

[15] 朱金鹤，庞婉玉. 数字经济发展对生态福利绩效的影响[J]. 统计

与决策, 2022, 38(24): 79−83. [Zhu Jinhe, Pang Wanyu. The impact of the development of digital economy on the performance of ecological welfare[J]. Statistics and Decision, 2022, 38(24): 79−83.]

[16] 李成宇, 张士强, 张伟, 等. 中国省际生态福利绩效测算及影响因素研究[J]. 地理科学, 2019, 39(12): 1875−1883. [Li Chengyu, Zhang Shiqiang, Zhang Wei, et al. Measurement and influencing factors of inter-provincial ecological well-being performance in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(12): 1875−1883.]

[17] 李在军, 胡美娟. 江苏省生态福利绩效时空演化及影响机制研究[J]. 世界地理研究, 2023, 32(3): 124−135. [Li Zaijun, Hu Meijuan. Spatial-temporal evolution and formation mechanism of ecological well-being performance in Jiangsu Province[J]. World Regional Studies, 2023, 32(3): 124−135.]

[18] 龙亮军, 王霞, 郭兵. 基于改进DEA模型的城市生态福利绩效评价研究——以我国35个大中城市为例[J]. 自然资源学报, 2017, 32(4): 595−605. [Long Liangjun, Wang Xia, Guo Bing. Evaluation of urban ecological well-being performance based on revised DEA model: A case study of 35 major cities in China[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(4): 595−605.]

[19] 马超, 冯印成, 赵康, 等. 我国矿产资源型城市"无废城市"建设路径探索[J]. 中国环境科学, 2024, 44(9): 5077−5084. [Ma Chao, Feng Yincheng, Zhao Kang, et al. Exploring the construction path of "Zero-waste City" in mineral resource-based cities in China[J]. China Environment Science, 2024, 44(9): 5077−5084.]

[20] 刘秀丽, 黎文涛, 郭丕斌, 等. 区位导向性政策能否促进资源型城市绿色转型? ——以山西"综改区"设立为例[J]. 自然资源学报, 2024, 39(1): 84−103. [Liu Xiuli, Li Wentao, Guo Pibin, et al. Can location-oriented policies promote the green transformation of resource-based cities? Taking the establishment of "Comprehensive Reform Zone" in Shanxi as an example[J]. Journal of Natural Resources, 2024, 39(1): 84−103.]

[21] 徐志雄, 徐维祥, 刘程军. 城市生态福利绩效的动态演进及其影响因子探析——以黄河流域地级及以上城市为例[J]. 城市问题, 2021(7): 52−60. [Xu Zhixiong, Xu Weixiang, Liu Chengjun. Exploring the dynamic evolution of urban ecological welfare performance and its influencing factors: Taking prefecture-level and above cities in the Yellow River Basin as an example[J]. Urban Problems, 2021(7): 52−60.]

[22] 张善余. 人口地理学概论[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2004: 265−323. [Zhang Shanyu. Introduction to population geography[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 2004: 265−323.]

[23] 秦志琴. 山西省迁移人口空间格局变化及其经济因素分析[J]. 地域研究与开发, 2015, 34(1): 166−171. [Qin Zhiqin. Migration distribution and its economic factors in Shanxi Province[J]. Areal Areal Research and Development, 2015, 34(1): 166−171.]

[24] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498−509.

[25] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(1): 32−41.

[26] 任贵秀, 刘凯. 黄河流域绿色创新的时空演化特征及影响因素分析[J]. 干旱区地理, 2024, 47(1): 158−169. [Ren Guixiu, Liu Kai. Spatiotemporal evolution characteristics and influencing factors of green innovation in the Yellow River Basin[J]. Arid Land Geography, 2024, 47(1): 158−169.]

[27] Dagum C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. Empirical Economics, 1997, 22(4): 515−531.

[28] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116−134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116−134.]

[29] 臧漫丹, 高易, 李金. 行政等级与城市规模对生态福利绩效的影响研究[J]. 自然资源学报, 2022, 37(12): 3201−3216. [Zang Mandan, Gao Yi, Li Jin. The influence of administrative hierarchy and urban scale on ecological well-being performance[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(12): 3201−3216.]

Temporal and spatial evolution of ecological welfare performance and its influencing factors: A case of Shanxi Province

WANG Ziyan[1], NIU Liqin[2], CHENG Zhanhong[1]

(1. School of Culture and Journalism Arts, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, Shanxi, China;

2. College of Resources and Environment, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, Shanxi, China)

Abstract: Ecological welfare performance integrates the human social system and the natural environmental system, serving as a critical metric for assessing the sustainable development capability of resource-oriented cities. This study employs the super-SBM model to evaluate the ecological welfare performance of Shanxi Province, China from 2006 to 2021. The spatial and temporal evolution of ecological welfare performance is analyzed using the standard deviation ellipse and GIS spatial visualization. In addition, the entropy weighting method and the Dagum Gini coefficient are applied to identify the causes of low ecological welfare performance and the sources of regional disparities. Finally, the Geodetector method is used to investigate the driving factors. The findings indicate that: (1) The mean ecological welfare performance across municipalities in Shanxi Province is 0.681, with significant variation in levels and enhancement effects among municipalities. (2) During the study period, the center of gravity of ecological welfare performance shifted from the north to the south and subsequently to the southwest, with a high likelihood of maintaining the status quo across different types of regions. (3) Regarding the composite index deconstruction, increased resource consumption and a low human development index are identified as primary contributors to the low levels of ecological welfare performance. Inter-regional differences constitute the main source of regional disparities. (4) Urbanization emerges as a key driving factor, while the degree of openness to external influences, in synergy with other factors, plays a pivotal role in shaping the current state of ecological welfare performance. These findings have significant practical implications for enhancing the ecological welfare performance in Shanxi Province and achieving transformative and leapfrog development.

Key words: ecological welfare performanc; super-SBM model; spatio-temporal evolution; geographic detectore; Shanxi Province